

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-109006
(43)Date of publication of application : 23.04.1999

(51)Int.Cl.

G01R 33/02
G11B 5/39
H01F 10/14

(21)Application number : 09-269084
(22)Date of filing : 01.10.1997

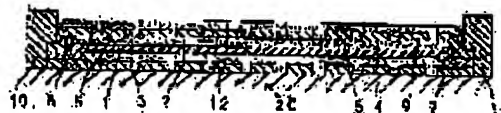
(71)Applicant : MINEBEA CO LTD
(72)Inventor : TAKAYAMA AKIO
UMEHARA TAMIO
YUGUCHI AKIYO
MORI KANEO

(54) MAGNETIC IMPEDANCE SENSOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a sensor with improve linearity and temperature characteristics by winding a bias coil and a negative feedback coil around a thin-film magnetic core via an insulator.

SOLUTION: A bias coil 4 and a negative feedback coil 5 consisting of a Cu sputter film are alternately wound in the same direction around an MI sensor plate 1 that is a rectangular, thin-plate-shaped thin-film magnetic core via insulator layers 2 and 3. Bias coil terminals 6 and 7 and negative feedback coil terminals 8 and 9 are provided at both terminals and MI sensor terminals 10 and 11 are provided at both terminals of the MI sensor plate 1. The terminals 6-11 are Au thin films and have a wide part for external wiring at the tip parts. An insulation protection film is provided while covering an entire part. The bias coil 4 and the negative feedback coil 5 in this structure have improved coil efficiency, a bias magnetic field can be obtained with less current, and the linearity of output for the magnetic field can be improved with less amount of negative feedback.



引用文献 2

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-109006

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月23日

(51) IntCl.⁴

識別記号

F1

G01R 33/02

G01R 33/02

D

G11B 5/39

G11B 5/39

H01F 10/14

H01F 10/14

審査請求 未請求 請求項の数7 OL (全9頁)

(21) 出願番号 特願平9-269084

(22) 出願日 平成9年(1997)10月1日

(71) 出願人 000114215

ミネベア株式会社

長野県北佐久郡御代田町大字御代田4106-73

(72) 発明者 高山 昭夫

静岡県磐田郡浅羽町浅名1743-1 ミネベア株式会社開発技術センター内

(72) 発明者 梅原 多美雄

静岡県磐田郡浅羽町浅名1743-1 ミネベア株式会社開発技術センター内

(74) 代理人 弁理士 辻 実

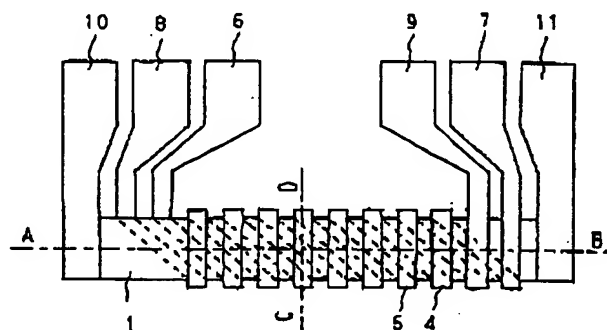
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気インピーダンスセンサ

(57) 【要約】

【課題】 小型で低コスト、かつ、検出磁界に対する出力の直線性、温度特性に優れた高感度磁気センサを提供すること。

【解決手段】 薄膜磁気コア1の周囲に絶縁物層2、3を介してバイアスコイル4および負帰還コイル5を巻回した構造を有し、この構造により、磁気センサの小型化、量産化が可能となる。前記2つのコイルを薄膜コイルで構成すると効率が上がるため、少ない電流で必要なバイアス磁界が得られ、また、少ない負帰還量で磁界に対する出力の直線性の改善が可能となる。上記薄膜磁気コアは、NiFe、CoFeNiのめっき膜、あるいはCoZrNb、FeSiB、CoSiBのアモルファススパッタ膜、NiFeスパッタ膜により形成されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】非磁性体からなる基板と該基板上に形成された薄膜磁気コアと該薄膜磁気コアの長手方向両端に設けられた第一の電極と第二の電極からなる磁気インピーダンスセンサにおいて、上記薄膜磁気コアの周囲に絶縁体を媒介してバイアスコイルと負帰還コイルを巻回した構造を有することを特徴とする磁気インピーダンスセンサ。

【請求項2】上記バイアスコイルと負帰還コイルは薄膜コイルから構成されていることを特徴とする請求項1に記載の磁気インピーダンスセンサ。

【請求項3】上記バイアスコイルと負帰還コイルは一定間隔をもって交互に且つ同一方向に巻回されていることを特徴とする請求項1に記載の磁気インピーダンスセンサ。

【請求項4】上記バイアスコイルと負帰還コイルは薄膜磁気コアの周囲にそれぞれ同一回数巻回されていることを特徴とする請求項1に記載の磁気インピーダンスセンサ。

【請求項5】薄膜磁気コアの下面において該薄膜磁気コアから絶縁されて平行に配置された複数の薄膜導体と前記薄膜磁気コアの上面において該薄膜磁気コアから絶縁されて平行に配置された複数の薄膜導体とを有し、薄膜磁気コアの上面と下面の薄膜導体の先端部をそれぞれ電気的に接続して、一定間隔をもって交互に且つ同一方向に巻回される上記バイアスコイルと負帰還コイルを形成することを特徴とする請求項2に記載の磁気インピーダンスセンサ。

【請求項6】上記薄膜磁気コアは、NiFe、CoFeNi、FeP、FeNiP、FeCoP、FeNiCoP、CoB、NiCoB、FeNiCoB、FeCoB、CoFeのめっき膜、あるいはCoZrNb、FeSiB、CoSiBのアモルファススパッタ膜、NiFeスパッタ膜により形成されていることを特徴とする請求項1に記載の磁気インピーダンスセンサ。

【請求項7】前記薄膜磁気コアが磁場中で熱処理が行われていることを特徴とする請求項1に記載の磁気インピーダンスセンサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は磁気センサに関し、特に高感度磁気センサである磁気インピーダンスセンサに関する。

【0002】

【従来の技術】最近の情報機器や計測・制御機器の急速な発展にともない小型・低コストで高感度・高応答の磁気センサの要求がますます大きくなっている。たとえば、コンピュータの外部記憶装置のハードディスク装置ではバルクタイプの誘導型磁気ヘッドから薄膜磁気ヘッド、磁気抵抗効果(MR)ヘッドと高性能化が進んでおり、モータの回転センサであるロータリーエンコー

(2)

特開平11-109006

2

ダではマグネットリングの磁極数が多くなり従来用いられている磁気抵抗効果(MR)センサに代わり微弱な表面磁束を感度良く検出できる磁気センサが必要となってきた。また、非破壊検査や抵牾検査に用いることができる高感度センサの需要も大きくなっている。さらに小型軽量の自動車用方位センサ、高精細カラーテレビやパーソナルコンピュータの表示管のアクティブ磁気シールド用センサなどの需要も高くなっている。

【0003】現在用いられている代表的な磁気検出素子として誘導型再生磁気ヘッド、磁気抵抗効果(MR)素子、フラックスゲートセンサ、ホール素子等がある。また、最近、アモルファスワイヤの磁気インピーダンス効果(特開平6-176930号公報、特開平7-181239号公報、特開平7-333305号公報参照)や磁性薄膜の磁気インピーダンス効果(特開平8-75835号公報、日本応用磁気学会誌vol.20,553(1996)参照)を利用した高感度の磁気センサが提案されている。

【0004】誘導型再生磁気ヘッドはコイル巻線が必要であるため磁気ヘッド自体が大型化し、また、ディスクが小型化すると磁気ヘッドと媒体の相対速度が低下して検出感度が著しく低下するという問題がある。これに対して、強磁性膜による磁気抵抗効果(MR)素子が用いられるようになってきた。MR素子は磁束の時間変化ではなく磁束そのものを検出するものであり、これにより磁気ヘッドの小型化が進められてきた。しかし、現在のMR素子の電気抵抗の変化率は約2%であり、またスピンバルブ素子を用いたMR素子でさえ電気抵抗の変化率が最大6%以下と小さく、数%の抵抗変化を得るのに必要な外部磁界は200e以上と大きい。従って磁気抵抗感度は0.1%/0e以下の低感度である。また、最近、磁気抵抗変化率が数10%を示す人工格子による巨大磁気抵抗効果(GMR)が見いだされてきた。しかし数10%の抵抗変化を得るためには数百0eの外部磁界が必要であり、磁気センサとしての実用化はされていない。

【0005】従来の高感度磁気センサであるフラックスゲートセンサはパーマロイ等の高透磁率磁心の対称なB-H特性が外部磁界によって変化することを利用して磁気の測定を行うものであり、 10^{-6} 0eの高分解能と $\pm 1^\circ$ の高指向性を持つ。しかし、検出感度を上げるために反磁界の小さな大型の磁心を必要としセンサ全体の寸法を小さくすることや応答速度を速くすることが難しく、また、消費電力が大きいという問題点を持つ。

【0006】ホール素子を用いた磁界センサは電流の流れる面に垂直に磁界を印加すると、電流と印加磁界の両方向に対して垂直な方向に電界が生じてホール素子に起電力が誘起される現象を利用したセンサである。ホール素子はコスト的には有利であるが磁界検出感度が低く、またSiやGaAsなどの半導体で構成されるため温度変化に対して半導体内の格子の熱振動による散乱によって電

3

子、または正孔の移動度が変化するため磁界感度の温度特性が悪いという欠点を持つ。

【0007】特開平6-176930号公報、特開平7-181239号公報、特開平7-333305号公報に記載されているように、磁気インピーダンス素子が提案され大幅な磁界感度の向上、マイクロ化、高速応答性を実現している。この磁気インピーダンス素子は時間的に急激に変化する電流を磁性線に印加することによって生じる表皮効果を利用した円周磁束の時間変化に対する電圧のみを外部印加磁界による変化として検出することを基本原理としている磁気インピーダンス素子である。図16はその磁気インピーダンス素子の例を示したものである。この磁性線としてFeCoSiB等の半磁歪の直径30 μ m程度のアモルファスワイヤ（線引後、張力アニールしたワイヤ）が用いられており、図17はワイヤのインピーダンス変化の印加磁界依存性を示したものである。長さ1mm程度の微小寸法のワイヤでも1kHz程度の高周波電流を通電するとワイヤの電圧の振幅がMR素子の1000倍以上である約100%/Oeの高感度で変化する。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】磁気センサとして、小型で低コスト、かつ、検出磁界に対する出力の直線性、温度特性に優れた高感度磁気センサが求められており、アモルファスワイヤの磁気インピーダンス効果を利用した磁気センサは高感度の磁界検出特性を示す。また、特開平6-176930号公報、特開平6-347489号公報に示されるものにおいてはバイアス磁界を加えることによりインピーダンス変化の印加磁界依存性の直線性が改善されること、およびアモルファスワイヤに負帰還コイルを巻き、アモルファスワイヤの両端の電圧に比例した電流をコイルに通電し負帰還を施すことにより、直線性と応答速度の優れたしかもセンサ部の温度変化に対して磁界検出感度の不変なセンサが提供できることを示している。

【0009】しかしながらこの高感度磁気インピーダンス素子は直径30 μ m程度のアモルファスワイヤからなるため微細加工には適しておらず、超小型の磁気検出素子を提供することは困難であった。また、半田付けによる電極形成が容易でなく特別の工夫をしていた。さらにバイアスコイル、および負帰還コイルはともに細い銅線を巻き回しコイルを作製しなければならず小型化に限界があり、また生産性にも問題があった。

【0010】一方、特開平8-75835号公報に記載されているものでは磁性薄膜を用いた磁気インピーダンス素子を提案し、素子の小型化をはかっているが、センサ感度の直線性を改善するためのバイアス磁界印加方法としてハードマグネットを用いる方法と、単板の導体を用いる方法を提案している。バイアスにハードマグネットを用いる方法は作製方法が難しく、また、磁石の経時

(3)

特開平11-109006

4

変化のためバイアス磁界をコントロールすることは容易ではない。また、単板の導体を用いてバイアスを加える方法は構造的には単純であり、またバイアス磁界のコントロールは電流量でコントロールできるが単板の導体であるため実用上必要なバイアス磁界を得るためには非常に大きな電流を流さなければならず、素子の発熱や断線等の問題を持っている。また、負帰還の機能を加えることについては考慮されていない。

【0011】日本応用磁気学会誌vol. 21, 649-652 (1997)によると、薄膜コイルを薄膜磁気コアの周囲に巻き回してバイアスコイルを形成しているが、この構造はバイアスコイル、および負帰還コイルを同時に持つ構造とはなっていない。また、薄膜コイルにAuを用いていることによりコスト面で問題である。本発明は上記事情を鑑みてなされたものであり、小型で低コスト、かつ、検出磁界に対する出力の直線性、温度特性および量産性に優れた高感度磁気センサを提供することにある。

【0012】

20 【課題を解決するための手段】上記の如き本発明の目的を達成するために、本発明は、非磁性体からなる基板と該基板上に形成された薄膜磁気コアと該薄膜磁気コアの長手方向両端に設けられた第一の電極と第二の電極からなる磁気インピーダンスセンサにおいて、上記薄膜磁気コアの周囲に絶縁体を媒介してバイアスコイルと負帰還コイルを巻回した構造を有することを特徴とする磁気インピーダンスセンサを提供する。また、上記バイアスコイルと負帰還コイルは薄膜コイルから構成され、そしてこれらは一定間隔をもって交互に且つ同一方向に巻回されているが、これらの巻数を同一巻き数とすることもできる。磁気インピーダンスセンサを形成する場合、薄膜磁気コアの下面において該薄膜磁気コアから絶縁されて平行に配置された複数の薄膜導体と前記薄膜磁気コアの上面において該薄膜磁気コアから絶縁されて平行に配置された複数の薄膜導体とを有し、薄膜磁気コアの上面と下面の薄膜導体の先端部をそれぞれ電気的に接続して、一定間隔をもって交互に且つ同一方向に巻回される上記バイアスコイルと負帰還コイルを形成する。上記薄膜磁気コアは、NiFe、CoFeNi、FeP、FeNiP、FeCoP、FeNiCoP、CoB、NiCoB、FeNiCoB、FeCoB、CoFeのめっき膜、あるいはCoZrNb、FeSiB、CoSiBのアモルファススパッタ膜、NiFeスパッタ膜により形成されている。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明による各実施例を図面を参照して説明する。図1は、本発明に係る磁気インピーダンス(MI)素子を用いた薄膜MIセンサの構造を模式的に示した正面図、図2は図1のA-B線に沿って切断した断面図であり、図3は図1のC-D線に沿って切断した断面図である。実際の薄膜MIセンサ全体は薄膜セラミックス板、ガラス板のような板状体の上に形

(4)

特開平11-109006

5

成されているが、図1ではこれを省略して示している。図1、図2及び図3において、1は平面形状が長方形の薄板状に形成された薄膜磁気コアであるMIセンサ板である。このMIセンサ板としての薄膜磁気コアの形状は、幅 $20\mu\text{m}$ 、厚さ $5\mu\text{m}$ 、長さ $500\mu\text{m}$ である。該MIセンサ板1の周囲には、絶縁物層2、3を介して、バイアスコイル4と負帰還コイル5が同一方向に且つ交互に巻回されている。図には正確に示してはいないが、これらコイルの巻数は、それぞれ20ターンである。バイアスコイル4の両端には、バイアスコイル端子6、7が接続され、負帰還コイル5の両端には、負帰還コイル端子8、9が接続されている。MIセンサ板1の両端には、MIセンサ端子10、11が接続されている。これら端子はAu金属薄膜から成り、先端の巾広部は、外部配線用のパッドとなる。なお、12は、MIセンサ全体を覆う絶縁保護膜である。

【0014】次に図4を用いて本発明に係る薄膜MIセンサの作製プロセスについて詳細に説明する。なお、図4は図2のA-B断面方向からみた状態で説明している。図4の(a)はバイアスコイル、および負帰還コイルを構成するコイル下層部であり、それぞれのコイル部パターンの端部において図4の(e)に示すコイル上層部パターンのコイル端部と接続され、図1に示す連続したバイアスコイル4、および負帰還コイル5が構成される。

【0015】図4の(a)に示すように、コイル下層部は、 Al_2O_3 セラミックウェーハ、Siウェーハ、ガラスウェーハ等の表面平滑性を高めた非磁性基板20上に、 50nm 程度の厚さのCuスパッタ膜をめっき用のシード層とするために形成し、そのシード層の上に所定のコイル形状の反転パターンのフォトレジストパターンを形成後、フォトレジストパターンの間にCuめっきを約 $3\mu\text{m}$ の厚さだけ埋め込み、さらにフォトレジストパターンを有機溶剤等により除去後、Cuスパッタ膜のシード層をエッチングにより除去することによりコイルパターン21が形成される。一方、Cuスパッタ膜を約 $3\mu\text{m}$ の厚さだけ成膜し、その後、所定のコイル形状のフォトレジストパターンを形成し、フォトレジストパターンをエッチング用マスクとして、イオンミリング等のエッチング手段によりエッチングし、さらにフォトレジストパターンを有機溶剤等により除去することにより下層コイル部を作製することもできる。上記によるCuコイルの作製方法は導体ワイヤを巻回してコイルを作製する方法や導体薄膜を巻回してコイルを作製する方法に比べてコイル自体を小型化でき、かつコイルを磁気コアに近づけることができるためコイル効率を高めることが可能となる。

【0016】図4の(b)に示すように、形成されたコイル下層部の上に絶縁物層3を被着する。図4の(c)は絶縁物層3の上に薄膜磁気コアが形成される。この薄膜磁気コアは、NiFe、CoFeNi等のめっき膜、あるいはCo

6

ZrNb、FeSiB、CoSiB等のアモルファススパッタ膜、NiFeスパッタ膜などの軟磁性膜が用いられる。ここでNiFeめっき膜を薄膜磁気コアとして用いたときの作成例を示す。まず、 50nm 程度の厚さのNiFeスパッタ膜をめっき用のシード層とするために形成する。そのシード層の上に所定のコイル形状の反転パターンのフォトレジストパターンを形成し、その後、フォトレジストパターンの間にNiFeめっきを約 $5\mu\text{m}$ の厚さだけ埋め込み、さらにフォトレジストパターンを有機溶剤等により除去後、NiFeスパッタ膜のシード層をエッチングにより除去することにより形成される。CoFeNiめっき膜を薄膜磁気コアとして用いたときも同様のプロセスで作成する。また、薄膜磁気コアを作成した後、回転磁場中、および静止磁場中で熱処理を行うと磁気特性の向上がはかれる。

【0017】次に、CoZrNb、FeSiB、CoFeB等のアモルファススパッタ膜、NiFeスパッタ膜等の軟磁性膜を薄膜磁気コアとして用いる場合の作成プロセスを示す。たとえばCoZrNbスパッタ膜を約 $5\mu\text{m}$ の厚さだけ製膜し、その後、所定の磁気コア形状のフォトレジストパターンを形成し、フォトレジストパターンをエッチング用マスクとして用い、イオンミリング等のエッチング手段によりエッチングし、さらにフォトレジストパターンを有機溶剤等により除去することにより下層コイル部を作製することもできる。一方、所定の薄膜磁気コアの反転形状を薄い金属板に作製し、それをスパッタマスクとして用いるメタルマスク法もあるが、この方法では微細の形状の磁気コアが得られにくく、その寸法精度も悪く好ましくはない。

【0018】図4の(d)に示すように、薄膜磁気コアの上層に、絶縁物層2を形成する。この絶縁物層2は、次に形成されるコイル上層部分と薄膜磁気コアを電気的に絶縁するための絶縁膜である。成形方法は図4の

(b)で示した絶縁物層3の場合と同様である。次に図4の(e)に示すように、絶縁物層2の表面にバイアスコイル、および負帰還コイルを構成するコイル上層部を形成する。図4の(a)の説明で示したように、それぞれのコイル部の端部において図4の(a)に示すコイル下層部のコイル端部と接続され、連続したバイアスコイル4、および負帰還コイル5が構成される。作製方法は図4の(a)で示したコイル上層部の作成の場合と同様である。

【0019】図4の(e)に示す工程が終了後、作製された磁気センサ部を保護するための絶縁保護膜12と磁気センサの駆動および検知するための周辺回路との電気的接続を得るためのワイヤーボンド用のボンディングパッド(バイアスコイル端子7、MIセンサ端子10、11等)を設けて図2の状態にする。絶縁保護膜12は、図4の(b)で示した絶縁物層3と同様にフォトレジストを露光、現像の工程を行い所定の絶縁物層の形状に形成後 270°C 、10時間の熱処理を行い硬化させたもの

7

を用いる。また、ポリイミドなどの樹脂を硬化させたものやSiO₂等の無機膜を所定の形状に形成したものを用いてもかまわない。ワイヤーボンド用のボンディングパッドは、Auめっき膜、あるいはAuスパッタ膜で作製される。その作製工程はCuコイルの場合とほぼ同様の工程で作製される。このように図4の(a)から順に図4の(e)、図2まで薄膜プロセスが積み上げられて薄膜MIセンサが作成される。

【0020】磁気インピーダンス効果(MI効果)は高透磁率磁性体に高周波電流を通電すると、その両端のインピーダンスが通電方向に印加した外部磁場によって変化する現象である。つまり、磁性体の内部インダクタンス分 L_i と、表皮効果によって電流周波数 f とともに増加する抵抗分 R_w によるインピーダンス

$$Z = R_w(\mu\theta) + j\omega L_i(\mu\theta) \cdots \cdots (1)$$

が、外部から磁界を印加することにより変化する磁性体の幅方向の透磁率 μ の関数として変化することによるものである。薄膜の場合、表皮効果が顕著な高周波領域(膜厚 $d > 2\delta$)における薄膜の抵抗 R_w は直流抵抗を R_{dc} とすると、

$$R_w = R_{dc} (d / 2\delta)$$

と表すことができる。一方、 $d > 2\delta$ の場合、インダクタンスは、

$$L = L_i (2\delta / d)$$

と表すことができる。ここで、 δ は表皮の深さを示し、図5に示す値となる。従って、薄膜のインピーダンス Z は、

$$Z = R_{dc} (d / 2\delta) + j\omega L_i (2\delta / d)$$

となる。ここで、薄膜の厚さは、 $d = 2a$ であり、また幅 W 、長さ l とすると、薄膜のインピーダンス Z の絶対値は図6に示すものとなる。ここで、表皮の深さ δ は図*

$$E = -M_s (H\theta + H_K) \cos[\pi/2 - (\theta_0 + \Delta\theta)] - M_s H_{ex} \cos(\theta_0 + \Delta\theta)$$

$$\cdots \cdots (5)$$

(5)式を用い、図9に示す(7)式より $\Delta\theta$ を求め、

(4)式に代入すると、図9に示す(6)式となる。従って $H_{ex} < H_K$ では磁界の増加とともに $\mu\theta$ すなわち Z が増加し、 $H_{ex} = H_K$ で最大値をとった後、磁界の増加とともに減少することが示される。また、磁化ベクトルが薄膜パターンの長さ方向に向いているときには H_{ex} による幅方向の $\mu\theta$ はほとんど変化しないのでMI効果は非常に小さくなる。

【0023】次に、作成した薄膜MIセンサの特性について述べる。ここで薄膜磁気コアの寸法は幅 $20\mu m$ 、厚さ $5\mu m$ 、長さ $500\mu m$ であり、通電電流は $10mA$ である。またバイアス用、負帰還用コイルは同一面上に交互に巻き回されており、その巻き数はそれぞれ20ターンである。バイアス用、負帰還用コイルを同一面上に交互に薄膜磁気コアに巻き回す構造により磁気コアの各部位に均等にバイアス磁界、および負帰還磁界を加えることができ磁気センサとしての特性が安定する。図10は

(5)

特開平11-109006

8

*5の示すところであるので、薄膜のインピーダンス Z の絶対値は透磁率 $\mu\theta$ の関数となる。

【0021】図7の(a)に示されるように薄膜のパターンの幅方向に一軸異方性が付与されているとき、磁化ベクトルは幅方向を向いて磁区構造は 180° 磁壁を持つ構造となる。ところでこの薄膜の長さ方向に高周波電流を流した場合、幅方向の高周波磁界が生じるが、 180° 磁壁の移動は渦電流制動により妨げられる。また、高周波磁界方向と磁化ベクトルの向きが同じ方向であるため回転磁化は起こりにくい。このため磁束の変化は少なく $\mu\theta$ は小さい。

【0022】一方、薄膜パターンの長さ方向に外部磁界 H_{ex} を印可すると磁化ベクトルの向きが幅方向から傾くので、高周波電流により生じる磁界により磁化ベクトルの回転が起こり(回転磁化)磁束の変化が生じるので $\mu\theta$ が大きくなる。外部磁界 H_{ex} がパターンの異方性磁界 H_K と同じになったとき $\mu\theta$ は最大となり、このときインピーダンス Z は最大となる。さらに H_{ex} が大きく($H_{ex} > H_K$)なると磁化ベクトルは H_{ex} に固定されるため磁化ベクトルの回転が抑制され、 $\mu\theta$ は小さくなっていき、それにともない Z も小さくなっていく。これらの現象を回転磁化モデルに基づき図7の(b)を用いて検証する。 $H\theta = 0$ の場合の回転角 θ_0 は、図8に示す式

(3)のエネルギー極小条件により定まる。従って、 $H_K = 2Ku/M_s$ を用いて、 $\theta_0 = H_{ex}/H_K$ が得られる。ここで $H\theta$ による回転角の変化 $|\Delta\theta| > \theta_0$ とすると幅方向の磁化変化分 ΔM は次式で表せられる。

$$\Delta M = M_s \cos\theta_0 \Delta\theta \cdots \cdots (4)$$

また $H\theta$ による項を含めた全エネルギーは次式で表せられる。

30

40

50

薄膜磁気コアをNiFeめっきで作成したときの薄膜磁気センサにセンサの長さ方向に0および300Oeの磁界(H_{ex})を印加したときのセンサ両端電極 E ($E = Z * I$)の通電電流周波数特性である。 $H_{ex} = 0$ のときと $H_{ex} = 300Oe$ のときの E の差 ΔE は通電電流の周波数20MHz付近で最大であった。図11は通電電流周波数を20MHz($10mA$)一定としたときのインピーダンスの変化率の印加磁界(H_{ex})依存性を示したものである。印加磁界を大きくしていくとインピーダンスの変化率 $\Delta Z/Z_0$ は大きくなり、素子の異方向性磁界 H_K のところで $\Delta Z/Z_0$ は最大となり、さらに $H_{ex} > H_K$ では $\Delta Z/Z_0$ は小さくなっていく。これらの結果は前述の理論式で示した特性となった。また、単位印加磁界あたりのインピーダンスの変化量(磁界感度)は $H_{ex} = 200Oe$ 前後で最大となり1.5%/Oeの磁界感度を示した。

【0024】磁気センサとして用いるときは最大感度のところに動作点を持つてくることによりセンサ感度を向

(6)

特開平11-109006

10

9
上することができる。図12はバイアスコイルに電流を流すことにより薄膜磁性体に200eのバイアス磁界を加え動作点を変えたときのインピーダンスの変化率 $\Delta Z/Z_0$ の印加磁界(Hex)依存性を示したものである。この図からわかるように200eのバイアス磁界を薄膜コイルを用いて磁気コアに印可することにより磁界00eのところに磁界感度が最大になるようなMI特性が得られた。

【0025】図13はコイル起磁力(電流と巻き数の積)とバイアス磁界の関係を示したものである。薄膜コイルをバイアスコイルとして用いた場合、28(Oe/AT)のグラフの傾斜であり、比較として検討した30μm径のアモルファスワイヤに銅線を巻き回したバイアスコイルを作製した場合には2(Oe/AT)であった。薄膜コイルはNiFe薄膜コアに近接し、かつ緻密にコイルを形成できることにより銅線を巻き回したバイアスコイルに比べて電流を磁束に変換するコイル効率は10倍以上高いものであった。

【0026】一方、バイアスコイルを用いて印加磁界0に最大感度を持つてくるように動作点を移動した場合、図12に示すように磁界に対するインピーダンスの変化(出力の変化)の直線性はあまり良くないものとなっている。この直線性を改善する方法として出力信号をフィードバックし負帰還コイルを用いて磁界に対する出力の非直線性を補正するだけの磁界を薄膜磁気コアに負帰還磁界として加えることにより出力信号を補正し直線性を得る方法がとられている。図14にリニア磁界MIセンサの電子回路のブロック図を示す。この回路により動作点を最大感度の点に移動し、出力信号をフィードバックし、薄膜コアに負帰還磁界を加え感度特性の直線性を高めている。

【0027】図15は図14の回路を用いてバイアスコイル磁界200e、負帰還率50%の負帰還をかけたときの印加磁界に対する出力電圧の関係を示したものである。ここで通電電流の周波数は20MHzであり出力の増幅度は500倍である。図に示すように±30eの測定磁界内で優れた直線性を示し、かつ、 10^{-5} 0eの磁界分解能を示した。これらの結果はリニア磁界センサとして良好な特性である。また、比較としたアモルファスワイヤに銅線を巻き回した負帰還コイルを用いた素子の場合では、図と同等の直線を得るためには約300%の負帰還をかけなければならなかった。アモルファスワイヤに銅線を巻き回した負帰還コイルに対して、薄膜コイルは約1/6の負帰還率で同等の直線性を得られたのはバイアスコイルのところで述べたように薄膜コイルのコイル効率が低いことによるものである。上記は測定の一例であり、その他のMIセンサの駆動方法として低消費電力駆動が可能なC-MOS I Cを用いてのパルス励磁型MI効果を用いることも可能である。さらに、バイアス磁界の印加方法もパルス励磁と連動したパルスを印加することが可能であり、これにより必要なバイアス磁界を得る

ことができる。

【0028】以上、本発明を上述の実施の形態により説明したが、本発明の趣旨の範囲内で種々の変形が可能である。例えば、バイアスコイル4と負帰還コイル5とを同巻数とせず、図18に示すように、負帰還コイル5を、バイアスコイル4を跨ぐ連結線5'で一部短絡接続し、バイアスコイル4と負帰還コイル5との巻数を変えても良い。もちろん、バイアスコイル4の一部を連結線で接続して、バイアスコイルと負帰還コイルとの巻数を変えるようにしても良い。そして、これらの変形や応用を本発明の範囲から排除するものではない。

【0029】

【発明の効果】薄膜磁気コアの周囲に絶縁体を介してバイアス用、および負帰還用薄膜コイルを形成した薄膜MIセンサ構造により、磁気センサの小型化・高信頼化・量産化が可能となり、かつ、上記のような構造に作製された薄膜コイルはコイル効率がよいため、少ない電流で必要なバイアス磁界が得られ、また、少ない負帰還量で磁界に対する出力の直線性の改善が可能となる。これらのことから高感度で感度の直線性が良く、温度特性の優れた薄膜リニア磁界センサを提供できる。また、バイアス用薄膜コイル、および負帰還用薄膜コイルを交互に巻き回すことにより薄膜の磁気コアの各部位に均等にバイアス磁界、および負帰還磁界を加えることができ磁気センサとしての特性が安定する。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明に係る磁気インピーダンス(MI)素子を用いた薄膜MIセンサの構造を模式的に示した正面図である。

【図2】図2は、図1のA-B線に沿って切断した断面図である。

【図3】図3は、図1のC-D線に沿って切断した断面図である。

【図4】図4は、本発明に係る磁気インピーダンスセンサの製造工程を示す断面図である。

【図5】図5は、 δ の値を示す方程式図である。

【図6】図6は、インピーダンスの絶対値を示す方程式図である。

【図7】図7は、薄膜MIセンサの磁気コア部の磁区構造モデル図である。

【図8】図8は、E0の値を示す方程式である。

【図9】図9は、 ΔM_0 の値を示す方程式図である。

【図10】図10は、出力の通電電流周波数依存性を示す特性図である。

【図11】図11は、インピーダンス変化率の磁界依存性を示す特性図である。

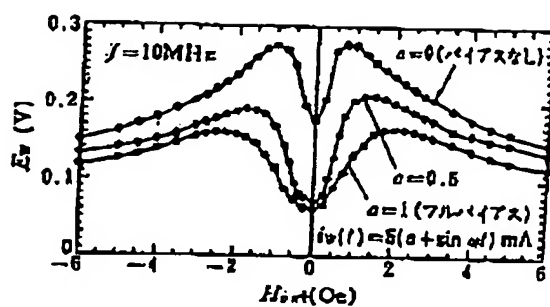
【図12】図12は、200eのバイアス磁界を印加したときのインピーダンス変化率の磁界依存性を示す特性図である。

【図13】図13は、バイアス磁界強度のバイアスコイ

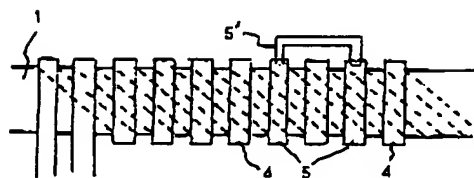
(9)

特開平11-109006

【図17】



【図18】



フロントページの続き

(72)発明者 湯口 昭代

静岡県磐田郡浅羽町浅名1743-1 ミネベ
ア株式会社開発技術センター内

(72)発明者 毛利 佳年雄

愛知県名古屋市天白区天白町大字島田黒石
3911の3